

## **RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM NÃO-TECIDOS DE FIBRAS DE SISAL E COCO, ANTES E APÓS CONDICIONAMENTO**

**Andressa B. Darros<sup>1</sup>, Jane M. Faulstich de Paiva<sup>1,2\*</sup>**

1) Pós-graduação em Ciência dos Materiais-PPGCM-UFSCar-Universidade Federal de São Carlos/Campus Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP-264, Bairro do Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil

2) Departamento de Engenharia de Produção - UFSCar - Universidade Federal de São Carlos/Campus Sorocaba, Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP-264, Bairro do Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil. Correo electrónico: [jane@ufscar.br](mailto:jane@ufscar.br); [jane.mfpaiva@gmail.com](mailto:jane.mfpaiva@gmail.com)

*Recibido: Diciembre 2014; Aceptado: Mayo 2015*

### **RESUMO**

Neste trabalho foram moldados compósitos de matriz de polipropileno com não-tecidos de fibras de coco e de sisal. Para todos os materiais de moldagem foram adicionados 10%, em peso, de polipropileno enxertado com anidrido maleico (MAPP) em relação à matriz de polipropileno (PP), que foi designada com as letras PP-PP-g-MA neste trabalho. A moldagem por compressão a quente foi realizada em um molde metálico e prensa hidráulica. Várias amostras foram cortadas dos materiais moldados e foram realizados ensaios de flexão em temperatura ambiente. Outras amostras foram condicionados em câmara climática com umidade saturada e temperatura de 60°C durante 7 dias e, em seguida, foram realizados ensaios de flexão. Os resultados dos ensaios de flexão em temperatura ambiente mostraram que a incorporação de fibras vegetais, no caso, não-tecidos de fibras de sisal contribuiu para o aumento das propriedades de resistência à flexão máxima (43 MPa) e módulo de elasticidade (1.532 MPa) quando comparado com o polímero matriz de PP-PP-g-MA (35 e 1.037 MPa). Ensaios de flexão realizados após o acondicionamento das amostras revelou a diminuição nas propriedades de resistência à flexão máxima e módulo de elasticidade dos compósitos que contêm os não-tecidos de fibras vegetais devido a absorção de água pelas fibras de sisal e de coco.

**Palavras-chave:** compósitos, resistência à flexão, fibras naturais, anidrido maleico.

### **ABSTRACT**

In this work were molded polypropylene matrix and composites with non-woven fabrics of coconut and sisal fibers. For all molding materials was added 10% by weight of maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) for the matrix of polypropylene (PP), which has been designated with the letters PP-PP-g-MA in this work. The compression molding was carried out in the hot metal mold and hydraulic press. Various specimens were cut molded materials and flexural tests at room temperature were made. Other specimens were conditioned in climate chamber with saturated humidity and temperature of 60°C for 7 days and then flexural tested. The results of flexural tests at room temperature showed that the incorporation of vegetable fibers, mainly non-woven of sisal fibers contributed to the increase of the properties of maximum flexural strength (43 MPa) and elastic modulus (1,532 MPa) when compared to the polymer matrix PP-PP-g-MA (35 and 1,037 MPa). Flexural tests conducted after conditioning the samples revealed the decreases in properties maximum flexural strength and modulus of elasticity of the composites containing non-woven due to absorption of water by the sisal and coconut fibers.

**Keywords:** composites, flexural strength, natural fibers, MAPP.

### **INTRODUÇÃO**

O polipropileno (PP) pertence à família das poliolefinas, sendo sintetizado a partir do monômero propeno, através de polimerização do tipo adição. O polipropileno (PP) é considerado

um polímero “*commodity*”, pois é produzido em larga escala, possui um baixo valor agregado e apresenta ampla aplicação. Este polímero tem apresentado um crescente uso na indústria automobilística devido a sua baixa densidade, alta resistência química e à solventes, baixo custo e facilidade de moldagem [1–4].

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou após beneficiamento. Estas se dividem em três tipos principais de fibras: animal, vegetal e mineral. Dentre as fibras vegetais para aplicação em compósitos de matriz polimérica pode-se destacar as fibras de sisal, coco, juta, curauá, rami e bagaço de cana de açúcar [5,6].

Os principais componentes das fibras vegetais são a celulose, lignina e polioses; por isto tais fibras são também denominadas fibras lignocelulósicas. A quantidade de celulose, lignina e polioses em tais sistemas lignocelulósicos pode variar dependendo da espécie e idade da planta [7,8].

Vários reforços vegetais apresentam vantagens em relação aos reforços minerais, devido ao alinhamento natural das ligações carbono-carbono no interior da estrutura, resultando em significativas força e rigidez, além da baixa densidade, baixo custo, biodegradabilidade, propriedades específicas aceitáveis, propriedade isolante, e baixo consumo de energia durante a transformação. Adicionalmente, a estrutura rica em celulose possibilita que tais reforços sejam biodegradáveis [9].

As fibras lignocelulósicas são hidrofílicas e tendem a absorver umidade. O teor de umidade da fibra pode variar entre 8 e 13% [10]. Isso pode levar a variações dimensionais e também a redução das propriedades mecânicas dos compósitos [11].

As propriedades dos compósitos reforçados com fibras vegetais dependem do tipo de fibra, orientação e dispersão na matriz polimérica utilizada e também das ligações e interações na interface fibra-matriz, sendo que algumas vezes melhorias nas propriedades interfaciais podem ser necessárias [6,11,13]. As fibras vegetais hidrofílicas são quimicamente incompatíveis com as matrizes poliméricas hidrofóbicas [9]. Quando tais fibras (polares) são incorporadas a polímeros sem grupos polares, tendem a se formar sistemas heterogêneos com propriedades mecânicas, geralmente, inferiores devido à falta de adesão entre as fibras e a matriz polimérica apolar [11].

A adesão entre a matriz e a fibra vegetal hidrofílica é um fator importante para o desempenho final do compósito. A presença ou a inserção de grupos polares na matriz tende a aumentar a interação na interface formando ligações de hidrogênio com os grupos hidroxilas da superfície da fibra. Esse fator tende a possibilitar boas propriedades aos compósitos poliméricos [6,12].

Para melhorar a adesão na interface torna-se necessário modificar a superfície da fibra vegetal ou, preferencialmente, adicionar agentes de adesão (acoplamento) à matriz polimérica.

Dentro deste contexto, neste trabalho foi utilizada a adição de polipropileno grafitizado com anidrido maleico (MAPP ou PP-g-AM) à matriz de polipropileno (PP) com o intuito de auxiliar a adesão na interface com as mantas de fibras vegetais de sisal e de coco.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

### **MATERIAIS**

O polipropileno (PP) utilizado (MFI = 45 g/10 min) foi adquirido da *Braskem* e o polipropileno grafitizado com anidrido maleico (PP-g-AM, *Polybond*, MFI = 50 g/10 min, 190°C) foi fornecido pela empresa *Chemtura, USA*. Para a moldagem de todos os tipos de materiais (matriz e compósitos) foi adicionado 10% (m/m) de PP-g-AM em relação a quantidade de PP, utilizando um misturador mecânico, marca *Marconi*.

Para a moldagem dos compósitos foram utilizadas mantas não-tecidas (aleatórias) de fibras de coco (gramatura de aproximadamente 567,0 g·m<sup>-2</sup>) e de fibras de sisal (gramatura de aproximadamente 370,0 g·m<sup>-2</sup>). O teor de fibras nos compósitos ficou entre 10 e 15% em relação à massa da matriz polimérica, denominada PP-PP-g-AM, neste trabalho.

As mantas de fibras vegetais não foram tratadas e nem secas antes da utilização com a intenção de evitar uma etapa adicional durante todo o processo de moldagem. Portanto, as mantas de fibras vegetais estavam em umidade ambiente ao serem utilizadas na moldagem dos compósitos.

### **MÉTODOS**

Foi utilizada a moldagem do tipo compressão a quente para o processamento da matriz polimérica e dos respectivos compósitos. Assim, para a moldagem foi utilizada uma prensa hidráulica de laboratório, marca *Marconi*, modelo MA 098/A, e um molde de liga de alumínio, nas dimensões aproximadas de 25x13x0,4 cm.

Antes de inserir a matriz polimérica e as mantas de fibras vegetais, foi aplicado ao molde um desmoldante contendo uma mistura de cera de carnaúba com solventes derivados de petróleo para facilitar, posteriormente, a desmoldagem dos materiais.

Para a moldagem da matriz PP com 10% (m/m) PP-g-AM e dos compósitos reforçados com mantas de fibras de coco e de fibras de sisal foi necessário realizar o aquecimento a uma razão de 5°C/min até atingir a temperatura 190°C para garantir que a matriz estivesse totalmente fundida.

Depois, esta temperatura foi mantida por 5 minutos com força de moldagem de 5 toneladas. Posteriormente, o molde foi deixado esfriar e a placa foi desmoldada. No caso dos compósitos, as mantas de fibras vegetais previamente cortadas foram colocadas dentro do molde juntamente com a matriz polimérica (PP/10% em massa de PP-g-AM).

**Ensaio de flexão.** Os ensaios de flexão foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos (marca *EMIC*, modelo DL 10000), com programação do software para ensaio de flexão em três pontos, de acordo com a norma ASTM D790-02, procedimento A.

Os corpos de prova foram cortados com utilização de serra meia esquadria e lixados nas dimensões de 127·12,7·5 mm<sup>3</sup>. Para cada placa moldada foram utilizados 10 corpos de prova para o ensaio de flexão sem condicionamento, ou seja, ensaiados em temperatura ambiente. Além disso, mais 10 corpos de prova (de cada tipo de material moldado) foram submetidos ao condicionamento na câmara de climatização (conforme explicado no próximo item) e ensaiados, posteriormente, em flexão com a mesma programação do software.

**Ensaio de condicionamento em câmara de climatização.** Para o ensaio de condicionamento os corpos de prova foram cortados nas mesmas dimensões de amostras para ensaio de flexão, e as laterais não foram seladas com nenhum tipo de resina polimérica.

O condicionamento em câmara de climatização foi realizado adaptando-se a norma ASTM D5229M-92. Os corpos de prova foram pesados em balança analítica e condicionados em câmara de climatização (marca *Equilam*, modelo *Kequn 300*) na temperatura de 60°C em umidade saturada, durante 7 dias. Após o ensaio de absorção em água, os corpos de prova foram pesados novamente para o cálculo do teor de umidade absorvida pelos materiais.

Após o ensaio de condicionamento, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão, para avaliar a influência de temperatura e umidade nas propriedades mecânicas.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a moldagem foi observado que as placas não apresentaram defeitos, bolhas ou vazios, revelando que o ciclo de moldagem foi adequado, assim como ocorreu boa dispersão do PP-g-AM no PP. Na sequência, foram cortados os corpos de prova da matriz PP-PP-g-AM e dos compósitos contendo mantas de fibras de coco e fibras de sisal, para a realização dos ensaios de flexão.

Na Tabela 1 estão apresentados os dados obtidos das curvas médias dos ensaios de flexão de 10 corpos de prova da matriz polimérica (PP-PP-g-AM) e respectivos compósitos, ensaiados a temperatura ambiente, sem condicionamento em câmara de climatização.

Tabela 1. Resultados médios dos ensaios de flexão da matriz polimérica PP/10% PP-g-AM sem fibras e dos respectivos compósitos contendo mantas de fibras de coco e de fibras de sisal, sem condicionamento.

| <i>Materiais moldados</i>    | <i>Resistência Máxima à Flexão* (MPa)</i> | <i>Deformação Máxima* (mm)</i> | <i>Módulo de Elasticidade*(MP)</i> |
|------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------------|
| PP-PP-g-AM (sem fibras)      | 35 ± 3                                    | 12 ± 2                         | 1.037 ± 221                        |
| PP-PP-g-AM / fibras de coco  | 38 ± 2                                    | 9 ± 2                          | 1.454 ± 75                         |
| PP-PP-g-AM / fibras de sisal | 44 ± 3                                    | 11 ± 2                         | 1.532 ± 247                        |

\* média de 10 amostras

As curvas apresentadas na Figura 1 são correspondentes à média dos ensaios de flexão de 10 corpos de prova ensaiados a temperatura ambiente, da matriz de PP/10% (m/m) PP-g-AM e dos compósitos com mantas de fibras vegetais.

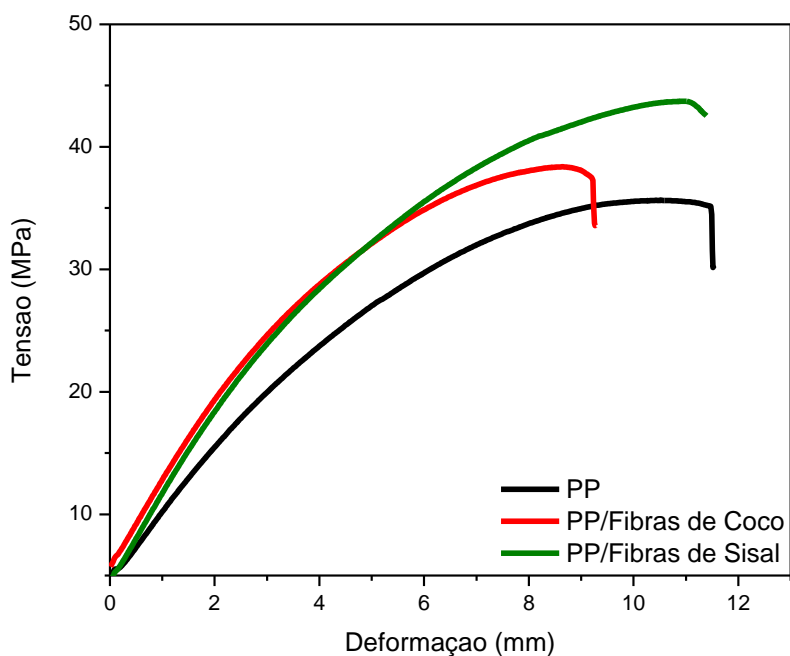


Figura 1. Curvas médias representativas dos ensaios de flexão da matriz PP, ou seja, PP-PP-g-AM (sem fibras) e dos respectivos compósitos com manta de fibras de sisal, e com manta de fibras de coco, sem condicionamento em câmara.

De acordo com os resultados da Tabela 1 pode-se verificar que os compósitos contendo as mantas de fibras vegetais apresentaram certo aumento na resistência máxima em flexão quando comparados à matriz polimérica sem fibras (PP-PP-g-AM). No caso, destaca-se que o compósito PP-PP-g-AM /fibras de sisal apresentou aumento de aproximadamente 24% em relação à matriz

polimérica (PP-PP-g-AM) sem fibras. Este aumento indica que a interação fibra-matriz foi efetiva e pode ser explicada pela adição do PP-g-AM, utilizado para melhorar a adesão na interface da matriz hidrofóbica com a fibra vegetal hidrofílica, devido a presença do anidrido maleico.

Em relação à deformação os valores foram próximos, porém, pode ser observado determinado decréscimo na deformação máxima (Tabela 1) do compósito de matriz PP-PP-g-AM/fibras de coco.

Em relação ao módulo de elasticidade pode ser observada uma tendência de aumento nos módulos dos compósitos quando comparado aos módulos da matriz polimérica sem fibras (PP-PP-g-AM). Isto revela que as mantas de fibras vegetais atuaram como reforço da matriz polimérica e também que houve adesão na interface fibras/matriz devido à utilização de 10% (m/m) PP-g-AM na formulação da matriz de PP.

Na Tabela 2 estão apresentados os teores de umidade de amostras após condicionamento na câmara de climatização com umidade saturada e temperatura de 60°C durante 7 dias.

Tabela 2. Teor de umidade dos corpos de prova de flexão do PP/10% PP-g-AM (sem fibras) e dos respectivos compósitos com mantas de fibras de sisal e fibras de coco pós-condicionamento em câmara de climatização.

| <i>Materiais moldados</i>   | <i>Teor de Umidade</i><br>% |
|-----------------------------|-----------------------------|
| PP-PP-g-AM (sem fibras)     | 0,4                         |
| PP-PP-g-AM/ fibras de coco  | 7,7                         |
| PP-PP-g-AM/ fibras de sisal | 4,1                         |

De acordo com os resultados da Tabela 2 pode ser observado que a incorporação das fibras vegetais ocasiona aumento significativo no teor de umidade dos compósitos em comparação com a matriz polimérica sem fibras (PP-PP-g-AM). Vale ressaltar que para o ensaio de condicionamento os corpos de prova foram cortados nas mesmas dimensões de amostras para ensaio de flexão, e as laterais não foram seladas com nenhum tipo de resina polimérica. Assim, as fibras vegetais ficaram expostas ao condicionamento com umidade saturada e temperatura elevada durante 7 dias, portanto, as condições simuladas foram drásticas.

Na Tabela 3 estão os resultados dos corpos de prova ensaiados em flexão após o condicionamento na câmara de climatização. As curvas médias do ensaio de flexão (10 corpos de

prova) realizado pós-condicionamento estão apresentadas na Figura 2. Comparando-se os valores das Tabelas 1 e 3 e as curvas dos gráficos da Figura 1 e Figura 2 pode ser observado que ocorreu um aumento nas propriedades de resistência à flexão e do módulo de elasticidade do PP-PP-g-AM (sem fibras) após o condicionamento na câmara de climatização. No caso do compósito com manta de fibras de coco pode ser observado um decréscimo significativo na resistência máxima à flexão, após o condicionamento em câmara de climatização. Isto está relacionado ao maior teor de água absorvido (7,7%; Tabela 2) por este tipo de compósito, quando comparado com o compósito PP-g-AM/fibras de sisal que apresentou uma absorção de umidade em torno de 4,1% (Tabela 2).

Tabela 3. Resultados médios dos ensaios de flexão da matriz polimérica PP-PP-g-AM sem fibras e dos respectivos compósitos contendo mantas de fibras de coco e de fibras de sisal, após condicionamento em câmara de climatização.

| <i>Materiais moldados</i>  | <i>Resistência Máxima à Flexão* MPa</i> | <i>Deformação Máxima* mm</i> | <i>Módulo de Elasticidade* MPa</i> |
|----------------------------|---|------------------------------|------------------------------------|
| PP-PP-g-AM                 | 44 ± 2                                  | 11 ± 1                       | 1.298 ± 104                        |
| PP-PP-g-AM/fibras de coco  | 30 ± 3                                  | 7 ± 2                        | 1.016 ± 130                        |
| PP-PP-g-AM/fibras de sisal | 42 ± 3                                  | 9 ± 2                        | 1.461 ± 67                         |

\* média de 10 amostras

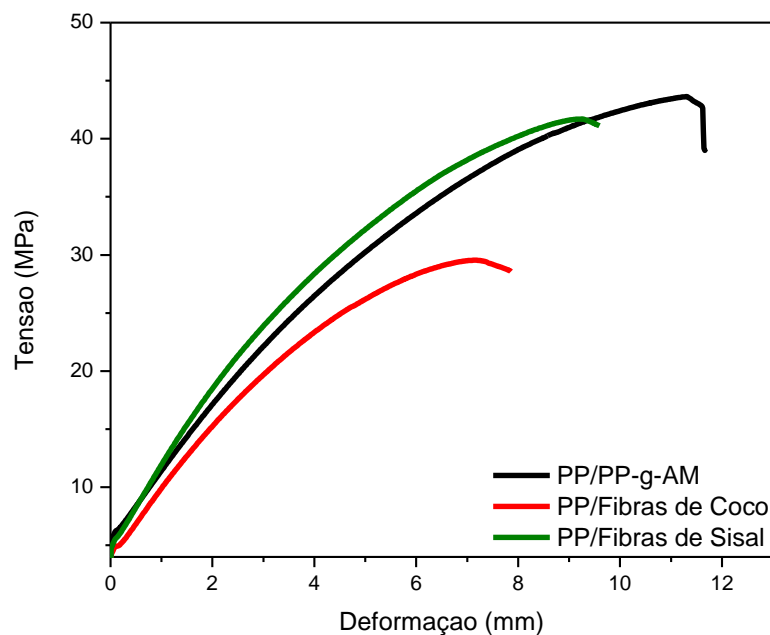


Figura 2. Curvas médias representativas dos ensaios de flexão da matriz PP, ou seja, PP-PP-g-AM (sem fibras) e dos respectivos compósitos com mantas de fibras de sisal e com mantas de fibras de coco, ensaiados após condicionamento em câmara de climatização.

No caso do compósito PP-PP-g-AM /fibras de sisal o decréscimo na resistência à flexão, após o condicionamento (Tabela 3) não foi muito significativo, quando comparado ao compósito PP-PP-g-AM/fibras de sisal sem condicionamento (Tabela 1).

Em relação ao módulo de elasticidade dos compósitos podem ser observados decréscimos nesta propriedade, principalmente, do compósito PP-PP-g-AM/fibras de coco, após o condicionamento na câmara de climatização.

## CONCLUSÕES

Os resultados de ensaios de flexão mostraram acréscimos nas propriedades mecânicas de resistência máxima à flexão e módulo de elasticidade quando foram incorporadas mantas de fibras vegetais de sisal e de coco à matriz polimérica de PP-PP-g-AM. Isto revelou a eficiência da adesão na interface fibras/matriz polimérica com a utilização do PP graftizado com anidrido maleico, colaborando para que as mantas de fibras vegetais atuassem como reforço da matriz polimérica e resultando em materiais compósitos.

Os resultados de ensaios de flexão após condicionamento em câmara de climatização (umidade e temperatura elevada) revelaram decréscimos nas propriedades de resistência à flexão e módulo de elasticidade dos compósitos. Estes decréscimos estão relacionados à presença das fibras vegetais que absorvem facilmente as moléculas de água quando expostas às condições drásticas de umidade e temperatura, sem proteção ou selagem das laterais das amostras dos materiais compósitos.

**Agradecimentos.** *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo–FAPESP (Projeto 06/60885–2); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior–CAPES; e empresa Chemtura Indústria Química.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Callister WD jr “*Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*”, Rio de Janeiro: LTC Edit., 2008
- [2] Mano EB, Mendes LC “*Introdução a Polímeros*”, São Paulo, Blucher Edit., 1999
- [3] Hemais CA, *Polímeros*, **13** (2), 107 (2003)
- [4] Fernandes BL, Domingues AJ, *Polímeros*, **17**(2), 85 (2007)
- [5] Marinelli AL, Monteiro MR, Ambrósio JD, Branciforti MC, Kobayashi M, Nobre AD, *Polímeros*, **18**(2), 92 (2008)
- [6] Paiva JMF, Frollini E, *Macromolecular Mat. and Engin.*, **291**, 405 (2006)
- [7] Mohanty S et al., *J. Appl. Polym. Sci.*, **94**, 1336 (2004)
- [8] Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G, *Macromol. Mater. Eng.*, **276/277**, 1 (2000)
- [9] Essabir H et al., *Mat. and Design*, **51**, 780 (2013)
- [10] Joseph K et al., *Rev Bras. Eng. Agríc. Ambient*, **3** (3), 367 (1999)
- [11] Saheb DN, Jog JP, *Adv. Polym. Technol.*, **18** (4), 351(1999)
- [12] Chattopadhyay SK et al., *J. Appl. Polym. Sci.*, **117**, 1731 (2010)
- [13] Bonelli CMC et al., *Polímeros*, **15** (4), 256 (2005)